

Inrichting voor het behandelen van een oppervlak van een substraat en een plasmabron.

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een inrichting voor het behandelen van een oppervlak van een substraat omvattende een behandelkamer om daarin het substraat
5 te ontvangen, ten minste een plasmabron voor het opwekken van een plasma, welke plasmabron in verbinding met de behandelkamer staat, en omvattende inlaatmiddelen om ten minste een reactant in een stroompad van het plasma in te laten, waarbij de plasmabron ten minste één kathode en ten minste één anode omvat waartussen een stelsel van ten minste één cascadeplaat is opgenomen, welke ten minste ene
10 cascadeplaat is voorzien van een opening om het plasma door te laten. Tevens heeft de uitvinding betrekking op een plasmabron.

Een inrichting van de in de aanhef genoemde soort is bijvoorbeeld bekend uit Europese octrooiaanvraag EP 297.637 en in toenemende mate in trek ten behoeve van
15 oppervlaktemodificaties van substraten. Een dergelijke modificatie kan bestaan in de depositie van een al of niet kristallijne laag, het al of niet gemaskeerd etsen van een toplaag van het substraat, een oppervlakte-activering of juist een oppervlakte-passivering en dergelijke meer. Dergelijke preparaties komen veelvuldig voor als
20 geïntegreerde halfgeleiderschakelingen, zonnecellen en beeldweergave-systemen. Maar ook voor de vervaardiging van meer grofstoffelijke producten als zonnebrillen en contactlenzen bestaat behoefte aan een controleerbaar proces waarmee het substraat-oppervlak nauwkeurig kan worden gemodificeerd. Het gaat daarbij niet louter om wafer-achtige substraten, maar ook om zogenaamde reel-to-reel processen, waarbij vol-continu
25 wordt ingewerkt op een substraat dat met een gewoonlijk continue snelheid door de reactiekamer wordt geleid.

Een bewerkingsinrichting op basis van een plasma biedt het voordeel dat daarmee gecontroleerd een grote variëteit aan reactanten kan worden aangeboden en een grote
30 doorloopsnelheid kan worden gehaald. Een nadeel van de heden te dage toegepaste plasmareactors is evenwel de relatief beperkte doorsnede van de plasmabundel wat zich met name laat gevoelen bij grotere substraten. Doordat in veel toepassingen voortdurend wordt gestreefd naar opschaling van de substraatkroon, zoals de waferdiameter in

halfgeleiderprocessen en de beelddiagonaal bij beeldweergavepanelen, zal dit nadeel meer en meer als klemmend worden ervaren. Pogingen om de doorsnede van de doorlaatopening te vergroten teneinde een bredere plasmabundel te kunnen laten passeren zijn dusverre gestrand doordat aldus het systeem instabiel blijkt te raken of
5 zich zelfs in het geheel niet laat opstarten. Bovendien zal ook een grotere plasmabundel nog steeds slechts lokaal en over een relatief beperkt deel van het substraat zijn beoogde uitwerking hebben, terwijl juist behoefte bestaat aan plasmabron waarmee het gehele substraat of althans een groot deel daarvan wordt bestreken.

10 In plaats van een opschaling van de plasmabundel zelf is dan ook de toevlucht gezocht in de toepassing van een aantal plasmabronnen per behandelkamer, opdat met evenzoveel meer plasmabundels gelijktijdig op het substraat kan worden ingewerkt. In de praktijk blijkt een dergelijk systeem alleen stabiel indien daarbij tevens iedere plasmabron van een afzonderlijke, gestabiliseerde elektrische voeding en van een
15 afzonderlijke inlaat voor een reactant wordt voorzien, wat sterk kostprijsverhogend werkt. Daarnaast is door de toepassing van afzonderlijke, onafhankelijk gestuurde bundels de homogeniteit van de behandeling over het volledige oppervlak in een dergelijke bekende inrichting lastig, zo niet onmogelijk afdwingbaar.

20 Met de onderhavige uitvinding wordt onder meer beoogd te voorzien in een dergelijke inrichting die aan deze en andere bezwaren althans in belangrijke mate tegemoet komt.

Om het beoogde doel te bereiken heeft een inrichting van de in de aanhef genoemde soort volgens de uitvinding als kenmerk dat de ten minste ene cascadeplaat van een
25 aantal doorlaatopeningen is voorzien, waarbij corresponderende openingen van opvolgende cascadeplaten in hoofdzaak onderling zijn uitgelijnd, en dat tussen de ten minste ene kathode en het stelsel van cascadeplaten een plasmaruimte aanwezig is die in open communicatie verkeert met de doorlaatopeningen in de ten minste ene cascadeplaat van het stelsel. Door iedere doorlaatopening in de cascadeplaten stroomt
30 tijdens bedrijf een plasmabundel. Aldus wordt met een plasmabron een veelvoud aan

plasmabundels opgewekt om een navenant groter gebied op het substraat gelijktijdig te bestrijken.

Verrassenderwijs is gebleken dat een dergelijke uitbreiding van het aantal openingen per cascadeplaat, anders dan een vergroting van een enkele opening, althans geen merkbare nadelige invloed heeft op de stabiliteit van het plasma. Bovendien wordt aldus het plasma uitgespreid over een groter oppervlak, waardoor als het ware een gedistribueerd plasma wordt verkregen dat werkelijk een heel oppervlak van een substraat of althans een groot deel daarvan kan bestrijken. Doordat conform de uitvinding wordt uitgegaan van een gemeenschappelijke plasmaruimte voorafgaand aan het stelsel van cascadeplaten en aan de daarmee bewerkte opsplitsing in afzonderlijke plasmabundels, kan worden volstaan met een enkele, evenzeer gemeenschappelijke elektrische voeding en reactantinlaat voor het geheel. Een kostprijsverhoging zoals bij een inrichting met afzonderlijke plasmabronnen kan hierdoor althans in belangrijke mate worden vermeden. En, anders dan bij de toepassing van afzonderlijke plasmabronnen voor de generatie van even zo vele plasmabundels, leidt de toepassing van de uitvinding niet noodzakelijk tot een wezenlijk grotere omvang daarvan. Integendeel biedt de uitvinding aldus de mogelijke een plasmabron van een gedistribueerde plasma te verwezenlijken met behoud van compactheid.

In een voorkeursuitvoeringsvorm heeft de inrichting volgens de uitvinding als kenmerk dat de doorlaatopeningen onderling althans nagenoeg equidistant in de ten minste ene cascadeplaat zijn gerangschikt. Aldus wordt een gelijkmatige distributie van de plasmabundels over het oppervlak van de cascadeplaten verkregen met het oog op de gewenste onderlinge uniformiteit van de bundels. In de praktijk kan hiertoe bijvoorbeeld worden uitgegaan van doorlaatopeningen die met hun middelpunt op de hoekpunten van een denkbeeldige gelijkbenige driehoek, een vierkant een regelmatig pentagon, zeshoek enzovoorts zijn gelegen, waarbij ook de ruimte binnen een dergelijke mathematische figuur in voorkomende configuraties ruimte biedt aan plaatsing van aanvullende doorlaatopeningen.

Bijzonder goede resultaten zijn geboekt met een verdere bijzondere uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de uitvinding gekenmerkt doordat de ten minste ene cascadeplaat van ten minste drie doorlaatopeningen zijn voorzien. De openingen in de platen kunnen daarbij congruent zijn uitgevoerd maar ook intentioneel van verschillende vorm of omvang zijn.

In een verdere voorkeursuitvoeringsvorm heeft de inrichting volgens de uitvinding als kenmerk dat de inlaatmiddelen zijn ingericht om de reactant aan een van de plasmaruimte afgewende zijde van de aangrenzende cascadeplaat in zich door de openingen uitstrekkende stroompaden van het plasma in te laten. Aldus worden de aan de tegenovergestelde zijde van de betreffende cascadeplaat gelegen kathode(s) door diezelfde cascadeplaat van de reactant afgeschermd. Met name bij sterk reactieve reactanten komt dit het behoud en de levensduur van de kathode(s) ten goede, waardoor de inrichting langer in bedrijf kan blijven.

In een verdere bijzondere uitvoeringsvorm heeft de inrichting volgens de uitvinding als kenmerk dat per doorlaatopening in de aangrenzende cascadeplaat ten minste één kathode is voorzien. Door de toepassing van een aantal openingen in de cascadeplaten om even zo vele plasmabundels te voeren, zal ook de maximale plasmastroom die door de inrichting kan worden getrokken toenemen. Om de inrichting in staat te stellen een dergelijke toename aan plasmastroom te leveren, met name bij de initiële ontsteking van de inrichting, is aldus per toegevoegde opening eveneens ten minste één kathode aangebracht zodat de totale plasmastroom die door de inrichting loopt over voldoende kathodes kan worden gespreid.

Alternatief is een verdere bijzondere uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de uitvinding gekenmerkt doordat per doorlaatopening in de aangrenzende cascadeplaat minder dan één kathode is voorzien. Aldus worden althans sommige van de kathodes tussen doorlaatopeningen gedeeld. Hoewel aldus de plasmastroom door alle aldus delende doorlaatopeningen uit één gemeenschappelijke kathode wordt getrokken en deze totale stroom beperkt is tot de maximale leveringscapaciteit van die kathode, biedt

dit als voordeel dat de plaatsruimte die anders voor additionele kathodes zou zijn vereist kan worden uitgespaard hetgeen tot een compactere bouw leidt terwijl het opgewekte plasma niettemin over een aanzienlijk oppervlak gedistribueerd kan worden aangeboden. De aldus haalbare plasmastromen blijken in de praktijk voor veel
5 toepassingen toereikend, terwijl, verrassenderwijs, in alle aldus delende doorlaatopening een stabiel plasma ontstaat.

De uitvinding heeft tevens betrekking op een plasmabron voor het genereren van een plasma omvattende ten minste één kathode en ten minste één anode alsmede een
10 daartussen gelegen stelsel van ten minste één cascadeplaat met een doorlaatopening voor een opgewekt plasma met het kenmerk dat de ten minste ene cascadeplaat is voorzien van een aantal doorlaatopeningen, ieder bestemd voor een doorvoer van een afzonderlijke plasmastroom, en dat de openingen in open communicatie verkeren met een gemeenschappelijke plasmaruimte die tussen het stelsel en de ten minste ene
15 kathode is opgenomen.

De uitvinding zal navolgend nader worden toegelicht aan de hand van een uitvoeringsvoorbeeld en een bijbehorende tekening. In de tekening toont:

- figuur 1 een dwarsdoorsnede van een uitvoeringsvorm van een inrichting conform
20 de uitvinding voor het behandelen van een oppervlak van een substraat;
- figuur 2 een detailweergave van het gedeelte A van de plasmabron van figuur 1;
- figuur 3A een vooraanzicht van een cascadeplaat zoals toegepast in de plasmabron van de inrichting van figuur 1; en
- figuur 3B een verdere uitvoeringsvorm van een cascadeplaat toepasbaar in een
25 inrichting volgens de uitvinding.

De figuren zijn daarbij zuiver schematisch en niet op schaal getekend. Met name zijn terwille van de duidelijkheid sommige dimensies (sterk) overdreven weergegeven.

Overeenkomstige delen zijn in de figuren, waar dienstig, met eenzelfde verwijzingscijfer aangeduid.

Figuur 1 toont schematisch de opbouw van een inrichting voor het behandelen van een oppervlak van een substraat met behulp van of ondersteund door een plasma volgens een uitvoeringsvorm van de uitvinding, een zogenaamde plasmareactor. De plasmareactor omvat een behuizing 1 met enerzijds een plasmabron 13 en anderzijds een behandelkamer 3 om daarin een te behandelen substraat 9 te ontvangen. De plasmabron 13 staat via een plasmainlaat in verbinding met de behandelkamer 3. Aldus kan een door de plasmabron opgewekt plasma 8 de behandelkamer 3 binnentreden. Het plasma 8 is daarbij gericht op een hoofdoppervlak van het te behandelen substraat 9, dat in positie wordt gehouden door een substraathouder 10. De substraathouder 10 wordt door middel van een niet nader getoond koelkanaal en/of ingebouwd verwarmingselement op een temperatuur tussen 70 en 1000 Kelvin gehouden. De houder 10 is elektrisch geïsoleerd ten opzichte van de behuizing 1 zodat de houder 10 onderdeel kan zijn van één of meer extra ontladingen in de plasma behandelruimte 3. De plasmainlaat omvat bij voorkeur een nozzle 5 waarvan een einde in de plasmabehandelruimte 3 uitmondt en het plasma enigszins over het substraat spreidt om zo een groter oppervlak te bestrijken.

In het geval een vloeibare of gasvormige reactant gebruikt wordt, vindt de injectie hiervan in plasmagenerator 13 plaats via een gasinlaat 11, zie ook figuur 2. Daarnaast is een inlaat 12 aanwezig ten behoeve van een geschikt spoelgas dat wordt geïnjecteerd om een (semi-)continu bedrijf van de reactor mogelijk te maken. Het spoelgas kan bestaan uit een willekeurig mengsel van gassen die na scheiding geen fragmenten opleveren die onderdelen van plasmagenerator 13 zouden kunnen beschadigen, zoals bijvoorbeeld inerte gassen als argon, helium, waterstof en stikstof. De verhouding tussen de geïnjecteerde hoeveelheden spoelgas en het reactant, uitgedrukt in m³/sec. bij STP (Standard Temperature and Pressure) gasequivalent, d.w.z. 273 Kelvin en 1 Bar, ligt typisch tussen 1 en 1000 en gewoonlijk tussen 8 en 400. De vloeibare of gasvormige reactant bevat bijvoorbeeld een scheidbare en ioniseerbare verbinding, zoals gehalogeniseerde koolwaterstoffen.

Om een gecontroleerde plasmabehandeling uit te voeren, vrij van ongewenste
bijproducten in het plasma 8, wordt tijdens bedrijf in de plasmagenerator 13 een druk
boven 0,1 Bar gehandhaafd, bij voorkeur tussen 0,1 en 3,5 Bar, terwijl de
behandelkamer 3 bij voorkeur op een druk beneden 0,05 Bar (= 5 kPa) en in het
5 bijzonder beneden 200 Pa wordt gehouden, onafhankelijk van de regelbare druk van het
geïnjecteerde spoelgas en de reactant. Hiertoe is de inrichting voorzien van
pompmiddelen waarmee de plasma-behandelkamer 3 via een regelbaar ventiel 16 en een
tweetal uitlaten 14,15 kan worden geëvacueerd. De daarbij toegepaste pomp omvat
10 olie-diffusiepomp die aan uitlaat 15 is aangesloten. Een dergelijke diffusiepomp is
tevens in staat de behuizing 1 buiten bedrijf van de inrichting voortdurend op een lage
druk van 3-10 Pa te houden, om zo vervuiling te voorkomen.

Om het plasma 8 te sturen en regelen kan een bij voorkeur watergekoelde skimmer
15 onderdeel van de plasmabehandelruimte 3 zijn. Met een dergelijke skimmer kan
desgewenst de diameter van het plasma 8 worden beïnvloed. Voor een verdere
fijn-regeling en opsluiting van het plasma zijn in dit voorbeeld bovendien
magneetspoelen 7 aangebracht waarmee naar wens rondom het plasma 8 een
magneetveld kan worden aangelegd.

20 Het plasma 8 wordt gegenereerd met een plasmabron 13 waarin een stelsel van
cascadeplaten 80 tussen één of meer kathodes 20 en één of meer anodes 5 is toegepast.
Het stelsel omvat hier negen van dergelijke opeenvolgende cascadeplaten 80,
vervaardigd van koper, met een totale lengte van zo'n 40-80 millimeter. In dit voorbeeld
25 worden supersonische nozzle-vormige anodes toegepast, waarmee depositie van
materiaal op ongewenste plaatsen in de behandelruimte 3 tegen kan worden gegaan. Een
dergelijke anode 5 wordt gevormd door een losneembaar inzetstuk voorzien van een
aansluitende aandrukkring 51 waarmee het in de koelplaat 30 is gedrukt. Het inzetstuk
heeft een aan weerszijden open, conische holte waarvan een diameter, in een richting
30 naar het substraat toe, geleidelijk toeneemt. De holte heeft een inlaatopening met een
diameter die een weinig groter is dan de diameter van het daarop aansluitende

plasmakanaal 95 en loopt vervolgens uit naar een uitlaatopening, zodat het kanaal zich verwijdt met een hoek van bijvoorbeeld ruim 10 graden ten opzichte van een hartlijn van het kanaal 95. Een binnenwand van het inzetstuk dient uiterst glad te worden afgewerkt tot een oppervlakte-ruwheid van minder dan zo'n 0,1 μ (micron).

5

Conform de uitvinding omvat iedere cascadeplaat 80 daarbij meer dan één doorlaatopening 85, zie ook figuur 3A, waarbij overeenkomstige doorlaatopeningen 85 in opvolgende cascadeplaten in hoofdzaak zijn uitgelijnd, om aldus een overeenkomstig aantal plasmakanalen 95 te vormen. De plasmakanalen 95 bieden afzonderlijke

10 stroompaden voor het opgewekte plasma van de nozzle-vormige anode 5 naar de kathodes 20. Aldus kan tussen de anodes 5 en de kathodes 20 een hoog-energetische plasmaboog worden getrokken waarin een reactant kan worden gevoerd en geïoniseerd.

De potentiaal over de boog bedraagt tijdens normaal bedrijf bij voorkeur tussen 20 en

15 200 V, in het bijzonder tussen 50 en 150 V. Het plasma 8 wordt gestart door de druk in de boog te verlagen en een ontstekingsspanning aan te leggen van circa 1000 Volt totdat ontsteking plaatsvindt en een grote stroom van bijvoorbeeld meer dan 10 Ampère gaat lopen. Hierna wordt de druk snel, dat wil zeggen bijvoorbeeld binnen 5 seconde, verhoogd tot de gewenste waarde wordt bereikt en zich een stabiele boog vormt nadat

20 alle tussenliggende ontladingsfasen zijn doorlopen. Uiteindelijk voeren de kanalen 95 gezamenlijk een elektrische gelijkstroom van 20 tot 200 A van de anodes 5 naar de kathodes 20. Via een venster 41 in een daartoe voorziene vensterhuls 42 kan het plasma 8 in de kanalen 95 worden geobserveerd. De vensterhuls 42 bevat tevens de inlaat 12 voor de eventuele toevoer van een spoelgas.

25

In dit uitvoeringsvoorbeeld, zie figuur 3, omvatten de cascadeplaten 80 ieder drie van dergelijke doorlaatopeningen 85 met een in hoofdzaak congruente cirkelvormige doorsnede met een diameter van 2-6 millimeter, in dit voorbeeld circa 5 millimeter. Voorafgaand aan de eerste cascadeplaat 80 bevindt zich, conform de uitvinding, een

30 gemeenschappelijke plasmaruimte 90 die in open communicatie verkeert met de verscheidene doorlaatopeningen 85 in de platen 80. Dit biedt het plasma de gelegenheid

om, na te zijn ontstoken, zich te verdelen over de verschillende kanalen opdat zich een drietal, en bij meer openingen zelfs een groter aantal, afzonderlijke bundels vormt. Hoewel de doorlaatopeningen in dit voorbeeld volledig regelmatig en onderling equidistant, op de hoekpunten van een denkbeeldige gelijkzijdige driehoek, zijn
5 aangebracht, kunnen ze in principe betrekkelijke willekeurig over het oppervlak van de platen worden verspreid en eventueel anders en/of onderling verschillend zijn vormgegeven om aldus een over nagenoeg het hele oppervlak daarvan gedistribueerd plasma te vormen. Figuur 3B toont een voorbeeld van een dergelijke alternatieve uitvoering van een cascadeplaat 80, zonder in enig opzicht limitatief te zijn. De
10 afzonderlijke plasmabundels treden parallel aan elkaar de behandelkamer 3 binnen om, als ware het de stralen van een douchekop, het oppervlak van het substraat 9 volledig, althans grotendeels te bestrijken.

Doordat de platen 80 tijdens bedrijf worden blootgesteld aan hoge temperaturen van de
15 orde van 10.000 Kelvin en hoge energie-dichtheden in het plasma, is het van belang de platen te koelen met een geschikt koelmiddel. Hiertoe zijn met name nabij de doorlaatopeningen kanalen 87 in de platen voorzien waardoorheen een geschikte koelvloeistof, zoals bijvoorbeeld water, kan worden gepompt. Dit waarborgt een adequate warmteafvoer en daarmee koeling van de cascadeplaten. De platen 80 zijn
20 onderling gescheiden en elektrisch geïsoleerd door middel van een systeem van 'O'-ring afdichtingen 82, afstandsringen 81, bijvoorbeeld van PVC, en centrale ringen 83 van boronitride. De afdichtingen 82 zorgen ervoor dat in de plasmaboog een druk tussen 0,05 en 5 Bar bestaanbaar is. De centrale ringen 83 hebben een witte kleur, waardoor ze het door het plasma uitgestraalde licht reflecteren en zo de 'O'-ringen 82 voor smelten
25 als gevolg van de absorptie van plasmalicht behoeden. Het pakket van cascadeplaten 80 wordt stevig bijeen gehouden met behulp van een aantal bouten 35 die door daartoe in de cascadeplaten voorziene boringen 84 worden geleid en door een koelplaat 30 steken waarin de anodes 5 zijn gevat. Met behulp van moeren 36 wordt het pakket aldus onwrikbaar met de koelplaat 30 verbonden. De bouten 35 zijn voorzien van niet nader
30 getoonde isolerende mantels en ringen om elektrisch contact met de platen 80,30 te vermijden.

De plasmabron 13 omvat in dit voorbeeld een tweetal identieke kathodetips 20, gemaakt van een legering van 2% thorium in wolfram. De kathodetips 20 zijn gemonteerd in holle houders 21, waardoorheen koelwater wordt aan- en afgevoerd via leiding 22. De houders 21 zijn tenminste gedeeltelijk gevat in een mantel 23, gemaakt van bijvoorbeeld kwarts, en worden in positie gehouden door een schroefverbinding 24 die aan een niet nader getoonde rubber afdichtring ruimte biedt en de houder 21 in een vacuüm-dichte toestand in de mantel 23 vastklemt. De plaatsing en het aantal van de kathodetips 20 in de plasmaruimte 90 kan betrekkelijk vrijelijk worden gekozen en behoeft niet of nauwelijks afstemming op het aantal en de positie van de kanalen 95. Zo is hier het aantal lager dan het aantal openingen 85 gekozen om de kosten en ruimte van kathodetips uit te sparen opdat compacter en goedkoper kan worden gebouwd, maar desgewenst kan ook een gelijk of een groter aantal worden gekozen, in vergelijking met het aantal plasmakanalen 95, om duurzaam meer elektrische stroom te kunnen leveren. Aldus kan de inrichting worden afgestemd op een specifieke toepassing.

Aan het eind van ieder kanaal 95 bevindt zich een anode 5 in de vorm van een betrekkelijk gemakkelijk uitneembaar conische inzetstuk, dat door middel van een aandrukkring 51 in een daartoe complementair in een watergekoelde plaat 30 gevormde opening drukbaar is. De koelplaat 30 is bijvoorbeeld vervaardigd van koper en is inwendig voorzien van een meanderend of spiraliserend vloeistofkanaal tussen een inlaat 31 en een uitlaat 32. Koelwater wordt via inlaat 31 naar de koelplaat en via het koel-kanaal naar uitlaat 32 gevoerd. De genoemde inzetstukken zijn bijvoorbeeld gemaakt uit zuurstofarm koper. De koelplaat 30 is elektrisch geïsoleerd van behuizing 1 door een isolerende mantel 33.

Ter hoogte van de eerste twee cascadeplaten 80 van het stelsel, bevindt zich de inlaat 11 voor een gasvormige reactant. Deze inlaat 11 mondt aan een van de kathode 20 afgewende zijde van de eerste cascadeplaat 80 tussen de twee naar elkaar gerichte oppervlakten van dit paar cascadeplaten uit, zie figuur 2. Eén van beide platen 80 is daartoe voorzien van een kanaal 86, waardoorheen het gasvormige reactant in de plasmakanalen 85,95 kan worden geïnjecteerd. Hiertoe is een uitsparing ter dikte van

circa 0,1 mm in de centrale boron-nitride ring 83 aangebracht. Aldus wordt de kathode 20 door de eerste cascadeplaat 80 afgeschermd van de soms sterk reactieve gasvormige reactant om de kathode 20 zo tegen aantasting een vroegtijdige slijtage te beschermen. Het kanaal 86 is zodanig aangebracht dat het nergens contact maakt met het koelkanaal 87 in dezelfde cascadeplaat 80.

Voor de injectie van vloeibare reactanten in de plasmakanalen 95 kan een vergelijkbare doorgang worden voorzien, waarbij het injectiekanaal 86 dan tenminste één capillair vat omvat. Ook een dergelijk capillair vat wordt dusdanig aangebracht dat het koelkanaal 87 in dezelfde plaat nergens wordt geraakt. De diameter van het capillair vat wordt bij voorkeur zodanig gekozen dat aangevoerde vloeistof, die onder een hogere druk wordt aangevoerd dan de in de plasmakanalen 95 heersende druk, pas verdampt aan het eind van het capillair vat waar dit uitmondt in het centrale gebied tussen de platen 80 waar zich de openingen 85 en de daardoorheen lopende plasmakanalen bevinden.

Naast gasvormige en vloeibare reactanten biedt de inrichting ook de mogelijkheid reactanten vanuit een vaste fase toe te passen. Hiertoe omvat de inrichting in of nabij een stroompad van het plasma 8 een kathode 61 die aan weerszijden wordt geflankeerd door een anode 60. In dit voorbeeld zijn beiden op een zekere afstand van bijvoorbeeld circa 10 centimeter van een hartlijn van de gevormde plasmabundels 8 opgesteld. Zowel de kathode 61 als de anode 60 is elektrisch van de behuizing 1 geïsoleerd. Onder invloed van het elektrische veld dat tussen de hoofd-anode 5 en kathode 20 wordt aangelegd zal tussen de hulp-anode 60 en -kathode 61 een neven-ontlading worden geïnduceerd. Wanneer deze ontlading wordt bekrachtigd op een spanning van typisch tussen 200 en 1000 Volt en met een stroomdichtheid van typisch 50 tot 1000 mA/cm² zal tussen de anode 60 en kathode 61 een sputterende ontleding plaatsvinden, waarbij vaste stof deeltjes uit de kathode worden vrijgemaakt die zich vervolgens met het plasma 8 zullen mengen. Door de kathode 61 uit een vaste reactant te vervaardigen kan aldus het vaste reactant-materiaal uit de kathode worden gesputterd en in het plasma worden geïntroduceerd. In dit voorbeeld is de kathode 61 uit koper vervaardigd om koper als vaste reactant te kunnen leveren. In de kathode 61 bevindt zich een koelkanaal

62 dat via niet nader getoonde leidingen aan koelmiddelen kan worden gekoppeld om de temperatuur indien nodig op een acceptabel niveau te kunnen handhaven.

De complete inrichting wordt tijdens bedrijf aan pompmiddelen gekoppeld en daarmee
5 via aansluitingen 14,15 voortdurend afgepompt, waarbij bij voorkeur een dusdanig
zodanig drukverschil tussen de plasmabron 13 en de behandelkamer 3 wordt aangelegd
dat het plasma als het ware door anode-nozzle 5 kan worden geëxtraheerd. De
pompsnelheid dient daarbij zodanig te worden gekozen, dat de expansie in de
sub-atmosferische plasmabehandeluimte 3 een supersoon karakter aanneemt. In dat
10 geval wordt het evenwicht van het plasma 'ingevroren'. Drie-deeltjes- en
stralings-recombinatie processen zijn namelijk in het algemeen te traag om een
substantiële vermindering van het aantal reactieve plasmadeeltjes te laten optreden in de
korte tijd die dan resteert totdat het te behandelen substraat wordt bereikt. Omdat zowel
de gas- als de elektronen-temperatuur in het plasma een waarde hebben van circa 10.000
15 Kelvin, is de geluidssnelheid circa 1750 m/s. Dit begrenst de massa-flow, omdat de
geluidssnelheid wordt gepasseerd op een plaats met de kleinste diameter, in de meeste
gevallen in de nozzle 5 of het einde van het plasmakanaal 95. Aldus kan met de
inrichting volgens de uitvinding een bijzonder hoge flux van de reactant worden bereikt
waarbij de behandeling bijzondere gelijkmatig en gecontroleerd gelijktijdig over het
20 gehele oppervlak van het substraat of althans een groot deel daarvan wordt uitgevoerd.

Hoewel de uitvinding hiervoor aan de hand van slechts een enkel uitvoeringsvorm in
detail nader werd toegelicht, moge het duidelijk zijn dat de uitvinding daartoe geenszins
is beperkt. Integendeel zijn voor een gemiddelde vakman nog vele variaties en
25 verschijningsvormen mogelijk zonder van hem te vergen buiten het kader van de
uitvinding te treden.

Conclusies:

1. Inrichting voor het behandelen van een oppervlak van een substraat omvattende een behandelkamer om daarin het substraat te ontvangen, ten minste een plasmabron
5 voor het opwekken van een plasma, welke plasmabron in verbinding met de behandelkamer staat, en omvattende inlaatmiddelen om ten minste een reactant in een stroompad van het plasma in te laten, waarbij de plasmabron ten minste één kathode en ten minste één anode omvat waartussen een stelsel van ten minste één cascadeplaat is opgenomen, welke ten minste ene cascadeplaat is voorzien van een opening om het
10 plasma door te laten met het kenmerk dat de ten minste ene cascadeplaat van een aantal doorlaatopeningen is voorzien, waarbij corresponderende openingen van opvolgende cascadeplaten in hoofdzaak onderling zijn uitgelijnd, en dat tussen de ten minste ene kathode en het stelsel van cascadeplaten een plasmaruimte aanwezig is die in open communicatie verkeert met de doorlaatopeningen in de ten minste ene cascadeplaat van
15 het stelsel.
2. Inrichting volgens conclusie 1 met het kenmerk dat de doorlaatopeningen onderling althans nagenoeg equidistant in de ten minste ene cascadeplaat zijn gerangschikt.
20
3. Inrichting volgens conclusie 1 of 2 met het kenmerk dat de ten minste ene cascadeplaat van ten minste drie doorlaatopeningen zijn voorzien.
4. Inrichting volgens één of meer der voorgaande conclusies met het kenmerk dat
25 de inlaatmiddelen zijn ingericht om de reactant aan een van de plasmaruimte afgewende zijde van de aangrenzende cascadeplaat in zich door de openingen uitstrekkende stroompaden van het plasma in te laten.
5. Inrichting volgens een of meer der voorgaande conclusies met het kenmerk dat
30 per doorlaatopening in de aangrenzende cascadeplaat minder dan één kathode is voorzien.

6 Inrichting volgens een of meer der conclusies 1 tot en met 4 met het kenmerk dat per doorlaatopening in de aangrenzende cascadeplaat ten minste één kathode is voorzien.

5 7. Plasmabron voor het genereren van een plasma omvattende ten minste één kathode en ten minste één anode alsmede een daartussen gelegen stelsel van ten minste één cascadeplaat met een doorlaatopening voor een opgewekt plasma met het kenmerk dat de ten minste ene cascadeplaat is voorzien van een aantal doorlaatopeningen, ieder bestemd voor een doorvoer van een afzonderlijke plasmastroom, en dat de openingen in
10 open communicatie verkeren met een gemeenschappelijke plasmaruimte die tussen het stelsel en de ten minste ene kathode is opgenomen.

Uittreksel:

Inrichting voor het behandelen van een oppervlak van een substraat en een plasmabron.

5 Een inrichting (1) voor het behandelen van een oppervlak van een substraat (9) omvat een behandelkamer (3) om daarin het substraat te ontvangen en is voorzien van ten minste een plasmabron (13) voor het opwekken van een plasma (8) welke in verbinding met de behandelkamer (3) staat. De plasmabron (13) is voorzien inlaatmiddelen (11) om
10 ten minste een reactant in een stroompad (95) van het plasma (8) in te laten. De plasmabron (13) omvat ten minste één kathode (20) en ten minste één anode (5) waartussen een stelsel van cascadeplaten (80) is opgenomen. De cascadeplaten (80) zijn ieder voorzien van een aantal doorlaatopeningen (85) om een aantal afzonderlijke stroompaden (95) aan het plasma (8) te bieden. Voorafgaand aan de eerste cascadeplaat
15 (80) van het stelsel bevindt zich een gemeenschappelijke plasmaruimte (90) die in open communicatie verkeert met de doorlaatopeningen (85) in de cascadeplaten (80) van het stelsel.

Fig. 1